

**T telecentric obj ctive l ns with double Gaussian obj ctiv - coupl s
lens cont nts into imag conducting fibr s with high r illuminating
strength at picture dg s**

Patent Number: DE4208635

Publication date: 1993-07-22

Inventor(s):

Applicant(s)::

Requested Patent: DE4208635

Application Number: DE19924208635 19920318

Priority Number(s): DE19924208635 19920318

IPC Classification: G02B13/22

EC Classification: G02B13/22

Equivalents:

Abstract

The telecentric objective lens includes two meniscus lenses (2, 3) behind a diverging lens (1). These define an aperture (7) between their concave sides. Diverging lenses (4-6) are arranged after the meniscus lenses (2, 3). These deflect the main beam to the telecentre. At least one of them has a dispersion surface which also reduces spherical aberration. The meniscus lens (3) after the aperture (7) has a focal width less than double that of the objective lens.

At least one strongly diverging lens is provided at a distance from the lens (5) behind the first three lenses. This satisfies $d_2 < 0.24f$ and $f_2 < f_1$. f_2 and d_2 are the focal width and thickness of the first meniscus lens (2). f is the objective focal width. f_1 is the focal width of the first lens.

USE/ADVANTAGE - For measuring and projection, especially for coupling picture contents into matrices or bundles of fibres. Improves illumination strength distribution over the whole picture for a uniform good quality picture.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

(12) **Patentschrift**
(10) **DE 42 08 635 C 1**

(51) Int. Cl. 5:
G 02 B 13/22

DE 42 08 635 C 1

(21) Aktenzeichen: P 42 08 635.3-51
(22) Anmeldetag: 18. 3. 92
(43) Offenlegungstag: —
(45) Veröffentlichungstag:
der Patenterteilung: 22. 7. 93

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:

Jenoptik GmbH, D-6900 Jena, DE

(72) Erfinder:

Dietzsch, Eberhard, D-6900 Jena, DE; Schneider,
Gudrun, D-6902 Jena, DE

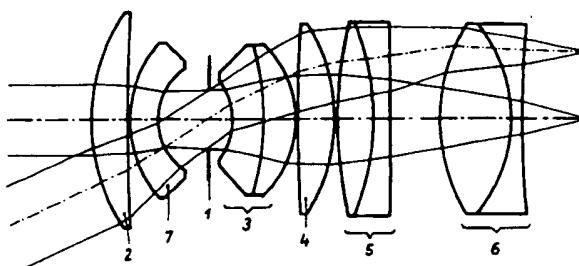
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-AS 12 55 944
DE 38 22 274 A1
DE 38 22 274 A1
GB 8 73 168
US 35 60 079
EP 03 35 559 A2
EP 02 99 474 A2

(54) Telezentrisches Objektiv

(57) Die Erfindung betrifft ein lichtstarkes, bildseitig telezentrisches Objektiv, besonders geeignet zur Einkopplung von Objektinhalt in Bildleitfasern.

Mit einem Beleuchtungsstärkeabfall in der Bildebene, deutlich besser als $\cos^{1.5}w$, weist es gegenüber vergleichbaren Objektiven mit einer natürlichen Beleuchtungsstärkeverteilung entsprechend dem \cos^4 -Gesetz eine wesentlich höhere Beleuchtungsstärke am Bildfeldrand auf.



DE 42 08 635 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein telezentrisches Objektiv entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Das erfundungsgemäße Objektiv ist für Meß- und Projektionszwecke und insbesondere zur Einkopplung von objektivmäßig gegebenen Bildinhalten auf Matrizen oder Bildleitfaserbündel geeignet.

5 Objektive mit bildseitig telezentrischem Strahlengang werden eingesetzt einerseits für Meßzwecke (da die Bildgröße bei einer Bildebenenänderung konstant bleibt), weiterhin (in umgekehrter Benutzungsrichtung) für spezielle Projektionszwecke und fernerhin zur Einkopplung von objektivmäßig gegebenen Bildinhalten auf Matrizen oder Bildleitfaserbündeln.

10 Insbesondere für letzteren Fall sollte das optische System einen optimalen telezentrischen Hauptstrahlengang und eine bildseitig große Apertur aufweisen, um eine hohe, möglichst verlustlose Einkopplung von Energie zu erreichen.

Lichtstarke optische Systeme mit bildseitig telezentrischem Strahlengang sind bisher wenig bekanntgeworden. Häufig wird eine Telezentrie mittels einer Feldlinse dicht vor der Bildebene hergestellt, wobei die Bildfehlerkorrektur leidet, so daß nur kleine Öffnungsverhältnisse realisiert werden können.

15 In der EP 03 35 559 A2 ist eine Lösung beschrieben, wobei mit einer Fresnellinse die Telezentrie hergestellt wird. Mit einer solchen Feldlinse ist es jedoch unmöglich, noch dazu auf einem strukturierten Empfänger, eine gute Bildqualität zu erzielen.

Die in der EP 02 99 474 A2 angegebenen Objektive haben den Nachteil, daß sie mit relativen Öffnungen von maximal 1 : 8 sehr lichtschwach sind und kleine Bildfelder aufweisen.

20 Beidseitig telezentrisch sind auch sogenannte Relaisysteme, wie sie in endoskop-optischen Systemen zur Bildübertragung eingesetzt werden, diese sind jedoch für große Übertragungslängen ausgelegt und weisen nur kleine Bildfelder und mäßige Öffnungsverhältnisse auf.

25 Das in der Auslegeschrift DE-AS 12 55 944 offenbare Objektiv stellt ein erweitertes Doppel-Gauß-Objektiv dar, vom Typ "Zeiss-Biotar". In der Patentliteratur sind erweiterte Doppel-Gauß-Objektive mit aufgespalterer letzter Sammellinse beispielsweise in den Patentschriften GB 8 73 168 sowie US 35 60 079 offenbart. Diese eignen sich für Öffnungsverhältnisse bis 1 : 1,4. Infolge der extrem hohen Apertur solcher Objektive gibt es innerhalb der schiefen Bündel auf der Bildseite auch Strahlen, welche telezentrisch austreten. Es ist lediglich eine Frage der Blendenlage, solche telezentrisch austretenden Strahlen durch die Blendenmitte laufen zu lassen.

30 Diese Maßnahme wurde im wesentlichen bei dem in der DE-AS 12 55 944 beschriebenen Objektiv durch die Verschiebung der Blende (Pupille) zum vorderen Brennpunkt hin ergriffen. Mit einer derart relativ einfachen Lösung entstehen allerdings eine Reihe von Nachteilen:

35 — Selbst bei einer gegenüber dem Ausgangsobjektiv reduzierten Öffnung von 1 : 2 ist das Objektiv nicht vignettierungsfrei, und es entsteht ein erheblicher Beleuchtungsstärkeverlust am Rande des Bildfeldes wegen unzureichender Linsendurchmesser im bildseitigen Objektivteil sowie starke Koma bereits bei den gegebenen Durchmessern.

40 — Eine Vergrößerung des Lichtflusses im oberen bildseitigen Objektivteil ist nicht möglich wegen der bei den angegebenen Durchmessern bereits zu starken Krümmungen der konvexen Linsenoberflächen der bildseitig angeordneten Linsen, was in bekannter Weise zu starker Innenkoma sowie Verzeichnung führt.

— Wegen der Häufung ausschließlich positiver Brechkraft im bildseitigen Objektivteil ist eine Korrektion der Pupillenaberration unmöglich, d. h., das Objektiv ist nur beschränkt telezentrisch.

45 In der DE 38 22 274 A1 ist ein relativ lichtstarkes und objektivseitig telezentrisches Projektionsobjektiv beschrieben, welches bei einer Apertur von 0,18 (relative Öffnung ca. 1 : 2,8) ein Bildfeld von $Zw = 46^\circ$ auszeichnet. Dieses Objektiv hat ebenso wie die vorher genannten den Nachteil, daß die Beleuchtungsstärke im Bildfeldrand aufgrund der natürlichen Beleuchtungsstärkeverteilung in der Bildebene relativ gering und für bestimmte Anwendungsfälle nicht ausreichend ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein lichtstarkes telezentrisches Objektiv zu schaffen, welches mit einem Beleuchtungsstärkeabfall deutlich besser als $\cos^{1,5}w$ eine gegenüber dem natürlichen $\cos^{-4}w$ -Gesetz wesentlich verbesserte Beleuchtungsstärkeverteilung in der Bildebene aufweist.

Diese Aufgabe wird erfundungsgemäß durch ein telezentrisches Objektiv entsprechend Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Aussführungen eines erfundungsgemäßen Objektivs sind in den Unteransprüchen 2 und 3 angeführt.

55 Das Wesen der Erfindung, bestehend in der bildwinkelabhängigen Vergrößerung der Pupillen, soll anhand eines Vergleiches mit dem aus der DE 38 22 274 A1 bekannten Objektiv erläutert werden.

Formal zeigt das erfundungsgemäße Objektiv gewisse Ähnlichkeiten mit dem Objektiv gemäß dem Ausführungsbeispiel der o. g. Offenlegungsschrift, d. h., es liegt bei diesem ein einem Doppel-Gauß-Objektiv ähnlicher Grundaufbau vor, bei welchem die Blende von zwei dicken und ihre konkave Seite der Blende zuwendenden Meniskuslinsengliedern eingeschlossen wird und bei dem fernerhin, insbesondere auf der Bildseite zur Erzielung der Telezentrie, eine Anzahl zusätzlicher sammelnder Elemente angeordnet ist. Allein damit wird jedoch im allgemeinen keine vergrößerte Abbildung der Pupille bzw. eine entsprechende Vergrößerung der Apertur zum Rande zu erreicht, wie auch das in der DE 38 22 274 A1 beschriebene Objektiv belegt. Bei diesem ist der hintere der Blende angeordnete dicke verkittete Meniskus sammelnd, d. h. sammelnd, die dahinter angeordnete Linse ist deutlich bikonvex, also auch von stark sammelnder Wirkung. Dadurch erfolgt bereits kurz hinter der Blende eine starke Einschnürung des außeraxialen Lichtbündels vergleichsweise zum axialen, so daß eine Erhöhung der Apertur zum Rande hin nicht möglich ist.

60 Im Gegensatz dazu ist bei dem erfundungsgemäßen Objektiv der hinter der Blende stehende dicke verkittete Meniskus 3 zerstreuend, und die nachfolgende Linse 4 wendet ihre weniger gekrümmte Fläche der Blende 7 zu,

so daß eine vorzeitige Einschnürung des außeraxialen Bündels vermieden wird.

In gleicher Weise wirkt die zerstreuende Kittfläche im dritten, hinter der Blende 7 angeordneten sammelnden Linsenglied 5. Im Gegensatz zum Objektiv nach DE 38 22 274 A1 ist diese objektseitig konkav, steht damit bezüglich des außeraxialen Bündels näher zur Blende 1 als eine entsprechend konvexe Fläche und bewirkt somit eine nochmalige Vergrößerung der außeraxialen Apertur, die auch im nachfolgenden größeren Luftraum wirksam bleibt. Die eigentliche erforderliche sammelnde Wirkung setzt erst gravierend mit dem letzten Linsenglied 6 ein, welches eindeutig positiv ist und zu diesem Zweck eine stark gekrümmte Fläche mit einem Radius kleiner als $1,6 \cdot f$, wobei f die Objektivbrennweite ist, zum einfallenden Licht hin aufweist. Infolge der durch diesen Brechkraftaufbau eintretenden Umlagerung der sammelnden Brechkraft zur Bildebene hin wird ähnlich wie bei Objektiven vom Typ umgekehrter Teleobjektive eine lange Schnittweite von mehr als 40% der Objektivbrennweite erzielt.

Im Sinne einer isoplanatischen Abbildung muß nachtürlich bei einem verzeichnungsfreien Objektiv der gleiche Effekt für die Blendenabbildung zum Objektraum hin auftreten. Der verzeichnungskorrigierende und mit wachsendem Bildwinkel pupillenvergrößernde Effekt des vor der Blende 7 angeordneten Objektivteils soll an Hand des Vergleiches mit bekannten telezentrischen Objektivkonstruktionen hervorgehoben werden: Während beim Objektiv nach DE 38 22 274 A1 der vor der Blende stehende Meniskus verkittet, sehr dick ist und wegen der Dicke nur wenig zerstreuend, hinsichtlich der Blendenabbildung sogar sammelnd wirkt (erkennbar daran, daß dessen Radius der äußeren konvexen Fläche kleiner ist als die Summe aus Gesamtmeniskdicke plus Beitrag des Radius der inneren konkaven Fläche), ist dieser Meniskus 2 bei vorliegender Erfindung dünner mit einer Dicke kleiner als $0,24 \cdot f$, und wegen seiner Brennweite von betragsmäßig kleiner als $2 \cdot f$ eindeutig, auch hinsichtlich der Blendenabbildung, zerstreuend, was aus den Strahlengängen in den Fig. 1 und 2 zu ersehen ist; d. h. das außeraxiale Strahlenbündel wird gegenüber dem axialen vergrößert. Das besagt aber nichts anderes, als daß bei einem gegebenen Blendendurchmesser der außeraxiale Pupillendurchmesser größer als der axiale wird.

Normalerweise würde die starke negative Brechkraft vor der Blende 7 zu einer ungewollten Vergrößerung der objektseitigen Bildwinkel und zu tonnenförmiger Verzeichnung führen. Diese wird kompensiert durch eine Verkleinerung der unverhältnismäßig vergrößerten Bildwinkel durch eine entgegengesetzte Abknickung der Strahlenbündel mittels einer ersten Sammellinse 1 vor diesem zerstreuenden Meniskus 2. Wie ersichtlich, wird die pupillenvergrößernde Wirkung für die größeren Bildwinkel hauptsächlich durch den von der Achse zum Rand zu wachsenden Luftraum zwischen der ersten Sammellinse 1 und dem nachfolgenden zerstreuenden Meniskus 2 vor der Blende 7 bewirkt. Die gewünschte Wirkung tritt aber nur ein, wenn die Einzelbrechkräfte beider Linsen genügend groß sind, und die Brennweite für den zerstreuenden Meniskus 2 betragsmäßig unter $2 \cdot f$ liegt. Betragsmäßig ist die Brennweite der ersten Sammellinse 1 größer als die des zerstreuenden Meniskus 2, so daß sich eine negative Gesamtbrennweite für den objektseitigen Objektivteil, bestehend aus beiden Linsen, ergibt.

Mit einem solchen Objektivaufbau lassen sich relative Öffnungen von $1 : 2$ und mehr bei Bildfeldwinkeln von $2w = 46^\circ$ erreichen. Andererseits sind auch größere Bildfeldwinkel bis zu $2w = 55^\circ$ bei eingeschränkter Apertur oder mit einer gewissen Vignettierung möglich.

Nachfolgend werden zwei Ausführungsbeispiele eines erfundungsgemäßes Objektivs in Verbindung mit den Zeichnungen beschrieben. Darin zeigt

Fig. 1 ein erfundungsgemäßes Objektiv für unendliche Objektentfernung mit den Konstruktionsdaten entsprechend Tabelle 1,

Fig. 2 ein erfundungsgemäßes Objektiv für eine endliche Objektentfernung mit den Konstruktionsdaten entsprechend Tabelle 2 und

Fig. 3 die Eintrittspupillen für die Bildmitte und den Bildrand des in Fig. 1 dargestellten Objektivs.

Da die Aufeinanderfolge der Elemente in den Fig. 1 und 2 identisch ist, wurden der Übersichtlichkeit halber in Fig. 1 nur die Bezugszeichen für die Elemente an sich eingetragen, während in Fig. 2 nur die zur Zuordnung zur Tabelle notwendigen Größen r , d und l angezogen wurden.

Fig. 1 mit den dazugehörigen Konstruktionsdaten in Tabelle 1 zeigt ein Objektiv gemäß Erfindung mit einer relativen Öffnung von $1 : 2$ und einem Bildfeldwinkel von $2w = 50^\circ$, welches für eine unendliche Objektentfernung korrigiert ist. Seine Wirkungsweise wurde in der Darstellung des Wesens der Erfindung ausführlich erläutert.

In Fig. 3 sind für dieses konkrete Objektiv die Eintrittspupillen für die Bildmitte und den Rand des Bildfeldes dargestellt. Dabei ist die bildwinkelabhängige Pupillenvergrößerung nach dem Rand zu deutlich zu erkennen. Die Fläche der Eintrittspupille für den Bildrand ist gegenüber derjenigen in der Bildmitte um den Faktor 1,33 größer. Damit besitzt das Objektiv eine Beleuchtungsstärke am Bildfeldrand von ca. 90% gegenüber der Bildmitte. Mit einem auf den Stand der Technik bekannten vignettierungsfreien Objektiv würde man dagegen infolge des \cos^4 -Gesetzes nur 67% Beleuchtungsstärke am Bildfeldrand bekommen. Somit folgt eine in \cos -Potenzen ausgedrückte Beleuchtungsstärkeverteilung in der Bildebene von $\cos^{1,2}w$. Fig. 2 mit den zugehörigen Konstruktionsdaten in Tabelle 2 zeigt ein erfundungsgemäßes Objektiv, welches bei einer bildseitigen Apertur von 0,23 (entsprechend einer relativen Öffnung von ca. $1 : 2$) für den Abbildungsmaßstab $1 : 5$ vorgesehen ist und ein Bildteil von $2w = 46^\circ$ kontrastreich auszeichnet. Dieses Objektiv hat eine noch günstigere Beleuchtungsstärkeverteilung, welche proportional $\cos w$ ist.

Patentansprüche

1. Telezentrisches Objektiv mit einem einem Doppel-Gauß-Objektiv ähnlichen Aufbau, bei welchem hinter einem sammelnden Linsenglied (1) zwei Meniskuslinsenglieder (2, 3) vorgesehen sind, die zwischen ihren konkaven Seiten eine Blende (7) einschließen und denen sammelnde Linsenglieder (4–6) nachgeordnet

DE 42 08 635 C1

sind, die eine gleichmäßige Ablenkung des Hauptstrahls bis hin zur Telezentrie bewirken und von denen mindestens eines eine zerstreuende Kittfläche aufweist, die zusätzlich die sphärische Aberration der Pupillenabbildung verringert, wobei die vorderste zerstreuende Kittfläche der sammelnden Linsenglieder (4—6), die den die Blende (7) einschließenden Meniskuslinsengliedern (2, 3) nachgeordnet sind, objektseitig konkav ist, das der Blende (7) nachgeordnete Meniskuslinsenglied (3) zerstreuend ist und das diesem nachgeordnete sammelnde Linsenglied diesem seine weniger gekrümmte Fläche zuwendet sowie
 daß das der Blende (7) vorgeordnete Meniskuslinsenglied (2) eine Brennweite betragsmäßig kleiner der doppelten Objektivbrennweite aufweist, dadurch gekennzeichnet,
 daß dem hinter den ersten drei Linsengliedern angeordneten Linsenglied (5) mit der am weitesten objektseitig liegenden zerstreuenden Kittfläche in größerem Abstand mindestens ein stark sammelndes Linsenglied nachfolgt, und
 daß die folgenden Bedingungsgleichungen erfüllt sind:

$$d_2 < 0,24 f$$

$$|f_2| < |f_1|$$

mit

f_2 bzw. d_2 = Brennweite bzw. Dicke des der Blende (7) vorgeordneten Meniskuslinsengliedes (2),

f = Objektivbrennweite,

f_1 = Brennweite des ersten Linsengliedes.

2. Telezentrisches Objektiv nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Konstruktionsdaten:

Tabelle 1

Brennweite: $f \sim 1,00$; Schnittweite: $s' = 0,43$
 relative Öffnung 1 : 2; Bildfeldwinkel: $2w = 50^\circ$

	Radien	Dicken und Luftabstände	Brechzahlen	Abbesche Zahlen
			n	v
35	$r_1 = +1,3248$	$d_1 = 0,2559$	1,64127	55,3
	$r_2 = +14,5633$	$l_1 = 0,0128$		
	$r_3 = +0,8382$	$d_2 = 0,1919$	1,67341	46,9
	$r_4 = +0,4143$	$l_2 = 0,4990$		
	$r_5 = -0,4497$	$d_3 = 0,2175$	1,69416	30,9
40	$r_6 = -1,8841$	$d_4 = 0,2239$	1,64127	55,3
	$r_7 = -0,6852$	$l_3 = 0,0128$		
	$r_8 = +13,6000$	$d_5 = 0,2559$	1,64127	55,3
	$r_9 = -1,1792$	$l_4 = 0,0128$		
	$r_{10} = +3,0038$	$d_6 = 0,2559$	1,59142	61,0
45	$r_{11} = -1,6412$	$d_7 = 0,1151$	1,69416	30,9
	$r_{12} = -32,0880$	$l_5 = 0,3378$		
	$r_{13} = +1,2129$	$d_8 = 0,5118$	1,59142	61,0
	$r_{14} = -0,9852$	$d_9 = 0,0768$	1,67764	32,0
	$r_{15} = +7,2815$			

3. Telezentrisches Objektiv nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Konstruktionsdaten:

55

60

65

Tabelle 2

Brennweite: $f = 1,00$; Abbildungsmaßstab: $1 : 5$
 relative Öffnung $1 : 2$; Bildfeldwinkel: $2w = 46^\circ$
 bildseitige Schnittweite beim Abb.-Maßstab $1 : 5 : s' = 0,64$

5

Radius	Dicken und Luftabstände	Brechzahlen n	Abbesche Zahlen v	
$r_1 = +1,5924$	$d_1 = 0,3196$	1,64127	55,3	10
$r_2 = -9,0431$	$l_1 = 0,0128$			
$r_3 = +0,8015$	$d_2 = 0,1598$	1,67341	46,9	
$r_4 = +0,4237$	$l_2 = 0,5024$			15
$r_5 = -0,4237$	$d_3 = 0,2378$	1,69416	30,9	
$r_6 = -2,0594$	$d_4 = 0,2173$	1,64127	55,3	
$r_7 = -0,6780$	$l_3 = 0,0128$			
$r_8 = -164,6670$	$d_5 = 0,2557$	1,64127	55,3	
$r_9 = -1,2095$	$l_4 = 0,0128$			20
$r_{10} = +3,4014$	$d_6 = 0,3196$	1,59142	61,0	
$r_{11} = -1,1662$	$d_7 = 0,1278$	1,69416	30,9	
$r_{12} = -4,0800$	$l_5 = 0,3611$			
$r_{13} = +1,3669$	$d_8 = 0,4154$	1,59142	61,0	
$r_{14} = -1,3669$	$d_9 = 0,1278$	1,67764	32,0	25

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

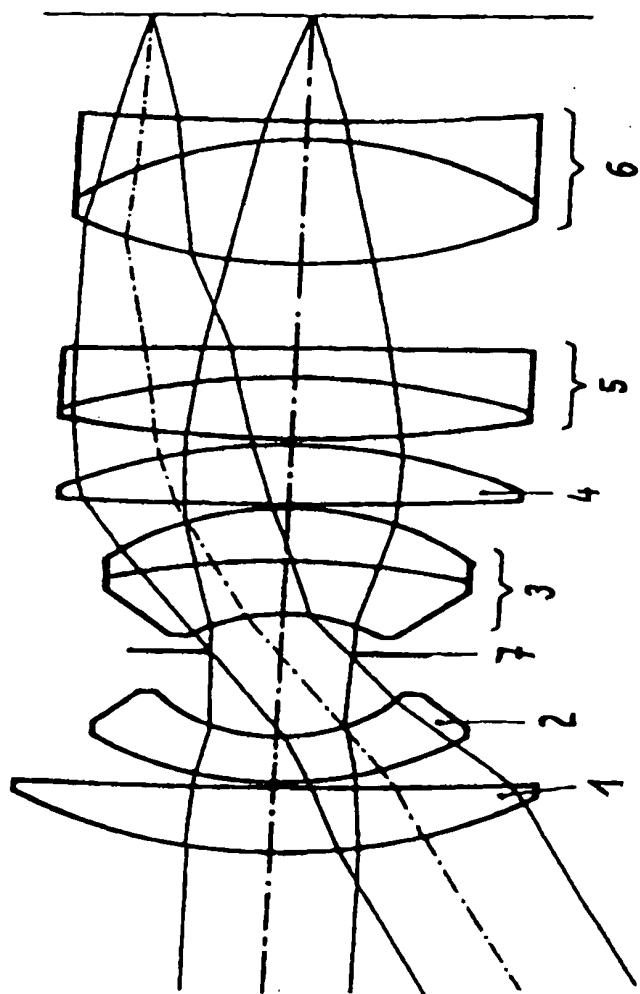


Fig. 1

308 129/341



308 129/341

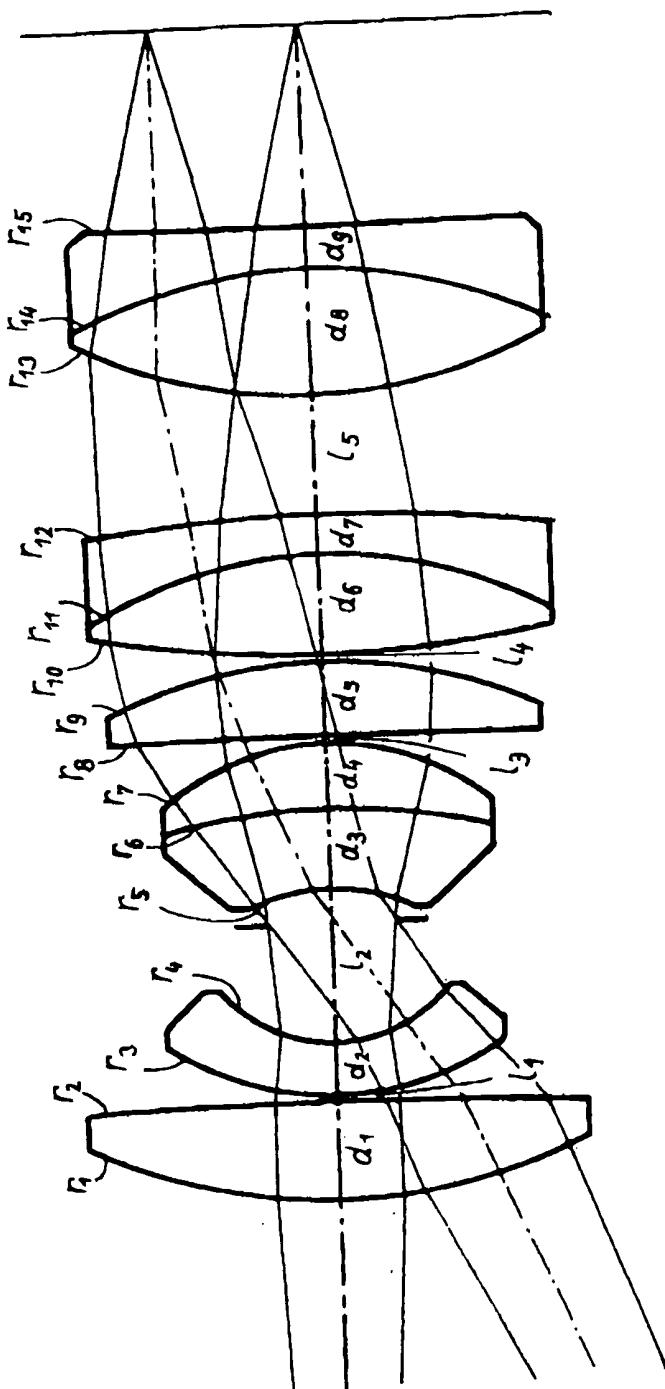


Fig. 2

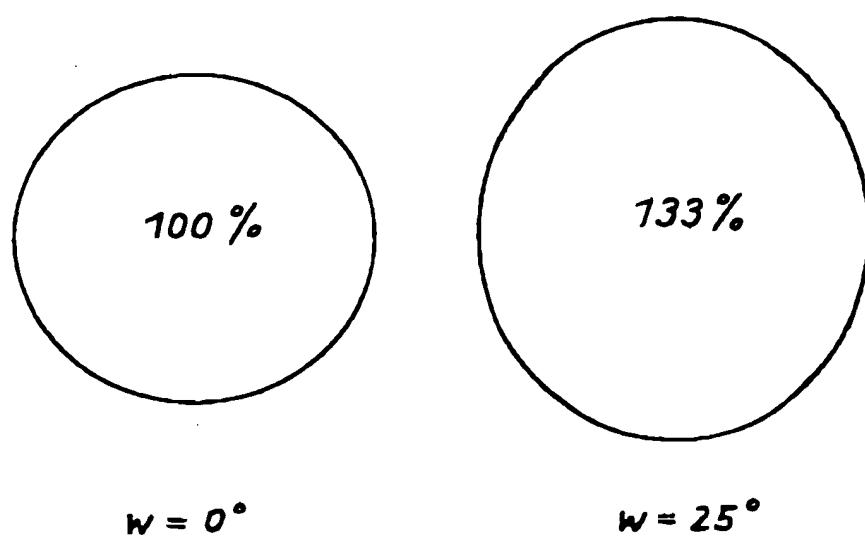


Fig. 3